

アンプとスピーカの関係を考える

小出力アンプ3台を作って実験

6CA7(T) シングル, 6BQ5 SRPP, 42 シングル

■ 野呂伸一 ■

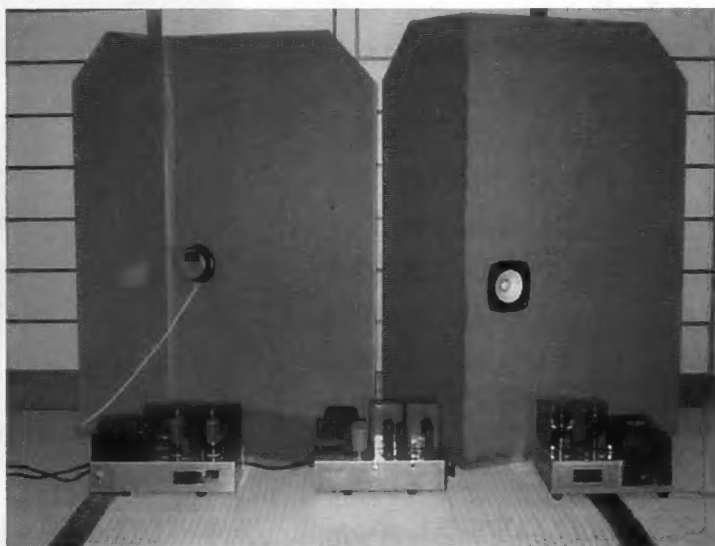
小 出力でシンプルな真空管アンプとフルレンジ・スピーカとの相性を探るため、手持ちの部品を使っておもに出力インピーダンス特性の異なる3台のアンプを試作しました。また、それらの負荷としてスピーカ・ユニット解析の最も簡単な平面バッフルを試作しました。

どちらも特性上の素性はよくありませんが、いままで無関心だったアンプとスピーカの相互関係を少しだけ考えてみれば、よい結果(ふつうの音)が得られるかも知れません。

1. μ ホロワ回路 (あるいは不完全なブートストラップド・カソード・ホロワ回路/不平衡SRPP回路)を採用した6CA7(3結)シングル・パワー・アンプ

1台目はマイルドな電圧出力アンプです。第1図は本誌(1984.1)に

●試作した3台のアンプとFE103+平面バッフル・スピーカ



掲載された佐藤定宏氏によるシーメンス EL 34 (3結) の実測特性曲線です。私が25年以上使用している NEC の 6CA7 に関して、この特性曲線は完璧でした。何度も負荷線を書き入れたりして、いまもお世話になっています。この特性曲線は μ の大きさを除いて、6GB8の3結と非常によく似ています。

(1) 回路の設計

スピーカ実験のためとはいえ、シンプルかつユニークな回路を考案す

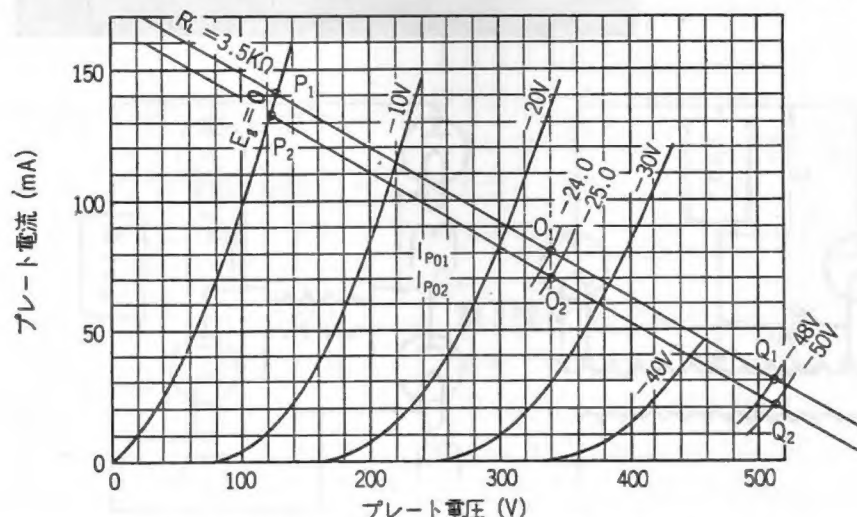
るという趣味は止められませんので、製作までいつも遠回りしてしまいます。電圧出力が目標ですから、負帰還のお世話になりますが、できるだけ多くの負帰還を安定にかけるには帰還経路が単純な単段帰還がよいわけで、その究極にカソード・ホロワ、あるいは100%PG帰還の出力段があります。

設計は両方しましたが、カソード・ホロワ応用のアンプの方が構成がシンプルで内容も味わい深いことから、PG帰還アンプの製作はつぎの機会に回すことになりました。

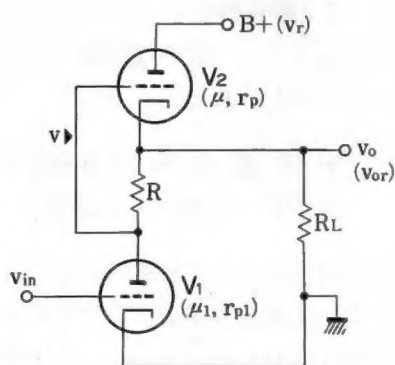
第2図が基本回路とその関係式で、一般にSRPP回路と呼ばれているものと同じです。第3図が実際の回路構成で、大きな出力電圧を要求される V_1 の動作を V_2 の出力電圧で補うのが特徴です。

このアンプのポイントは、 V_1 に3極管を使うこと、およびその動作点と R_1, R_2 の値の配分です。順に挙げてみると、

(1) V_1 に3極管を使わないと、低



〈第1図〉佐藤定宏氏が実測した6CA7の3結特性(1984年1月号)



〈第2図〉試作6CA(T)アンプの基本回路と諸特性の計算値

インピーダンス出力が得られませんが、第2図 r_o 算出式の $r_{p1}=0$ (理想3極管) と $r_{p1}=\infty$ (理想5極管) の場合で、 r_o に大きな差が出ています。 $R \gg r_{p1}$ の場合は本誌 (2002.8/9) で岡本薫氏が解説された μ ホロワに近い動作となり、 $R \ll r_{p1} \leq \infty$ の場合はブートストラップド・カソード・ホロワとも呼ばれ、 $r_o \approx r_p$ となってしまいます。

(例) $r_p=1\text{ k}\Omega$, $r_{p1}=90/9000\text{ k}\Omega$, $R=103\text{ k}\Omega$, $\mu=10$ から、 $r_o=0.158\text{ k}\Omega/0.898\text{ k}\Omega$

(2) V_1 の動作点 (DC 電位) は $I_b(R_{k2}+R_L)$ 以上であること

(例) 72 mA ($0.35\text{ k}\Omega+2.9\text{ k}\Omega$) $=234\text{ V}$ 以上

(3) R_1 と R_{g2} の並列抵抗 (第2図の R) に I_{b1} を掛けた値が $I_b \times R_{k2}$ より大きいこと

(例) 0.33 mA ($150\text{ k}\Omega//330\text{ k}\Omega$) $=34.0\text{ V}$, $72\text{ mA} \times 0.35\text{ k}\Omega=25.2\text{ V}$

$$v_o = \frac{-v_{in} \cdot \mu_1 (R \cdot \mu + r_p) R_L}{R_L (r_{p1} + R(1 + \mu) + r_p) + r_p (r_{p1} + R)}$$

$$r_o = \frac{r_p (r_{p1} + R)}{r_{p1} + R(1 + \mu) + r_p}$$

$$v = \frac{-v_{in} \cdot \mu_1 \{R(1 + \mu) + r_p\} R_L + R \cdot r_p}{R_L (r_{p1} + R(1 + \mu) + r_p) + r_p (r_{p1} + R)}$$

(r_o : 出力抵抗, v_{or} : 出力中のリップル)

$$v_{or} = \frac{v_r (r_{p1} + R) R_L}{R_L (r_{p1} + R(1 + \mu) + r_p) + r_p (r_{p1} + R)}$$

(4) R_2 が R_L より十分に大きいこと。 (例) $150\text{ k}\Omega \gg 2.9\text{ k}\Omega$

以上を満足すれば、無調整で安定な高帰還アンプが得られます。

V_2 の動作点はふつうの自己バイアス・カソード接地回路と同じで、負荷の位置のみ異なります。なおヒータは接地してありますので、大出力時ヒータ・カソード間電圧は 100 V を越えますが、AC 尖頭値では 200 V まで耐えられると踏んで、対

策はしていません。

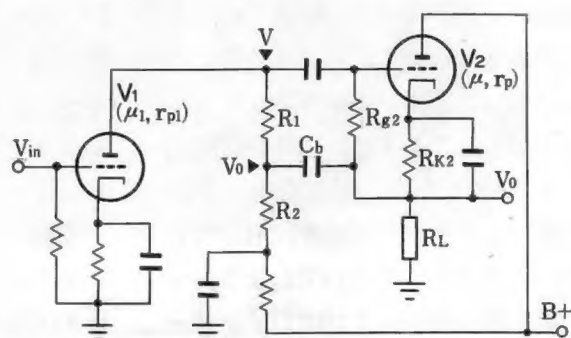
第4図は本アンプの全回路図です。手持ちの部品ですましていることもあって、電源部のフィルタは簡易なものです。出力段は3極管使用でも5極管に近いリップル減衰率が得られます (第2図の V_{or} 算出式参照)。

(例) $r_{p1}=90\text{ k}\Omega$, $R_L=2.9\text{ k}\Omega$, $R=103\text{ k}\Omega$, $\mu=10$, $r_p=1$ から出力段のリップル含有率は供給電圧の 0.150 となる。

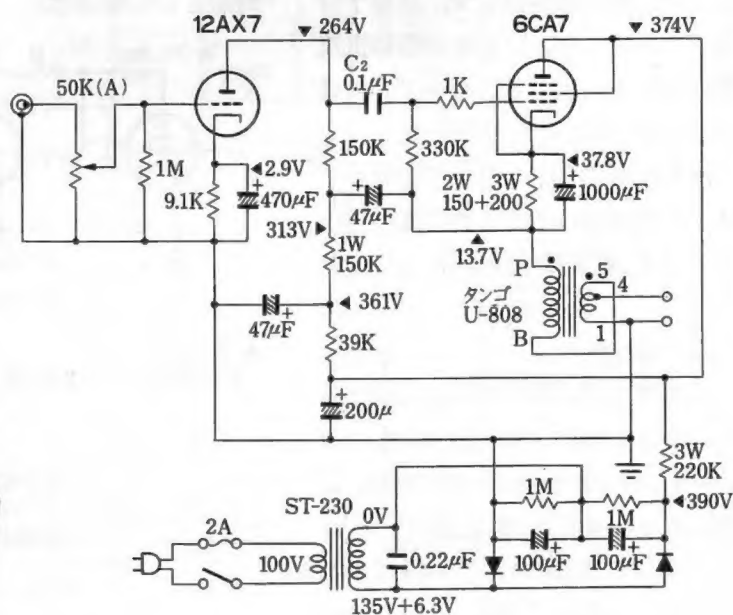
また出力トランスは、全巻線をシリーズ接続として、オートトランス風に使いました。巻線の有効利用という点もありますが、12AX7の出力電流が直接スピーカを駆動する愉しさを買いしました。不平衡ですがSRPP回路でもあります。

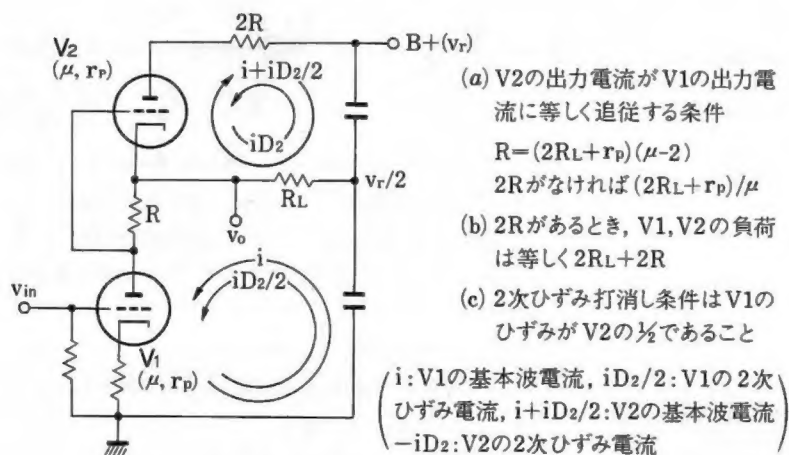
製作後の調整は不要です。

〈第3図〉
6CA7(T)アンプの
回路構成



▼〈第4図〉
6CA7(T)シングル・アンプの
全回路図





〈第9図〉平衡 SRPP 回路

電流コピーの動作を理想的に行ない、 V_1 が3極管であれば全体としては3極管として動作しますが、PPとしての利点は(3)のみとなります。

(1) 回路の設計

第9図の内容を実機でなんとか実現しようとすれば、動作のバランスと偶数次調波の打消しの点で、 V_1 、 V_2 とも同種の高極管とするしかありません。これは必然的に電流出力アンプとなります。また、第2グリッドへの給電とリップルの打消しの点で、負荷の配置もおのずから決まってきます。

そんなわけで手持ちの Sovtec EL 84 (6 BQ 5) とタムラの F-485 を使った第10図の構成となりました。プレート側巻線が2巻き独立している出力トランスは出力段の構成の自由度が高く、たいへん重宝します。 V_2 プレート側の $2R$ は r_p より十分に小さく、動作にほとんど影響しないので省略しました。実機 R 計算例では、 $R = (2R_L + r_p)/(g_m \cdot r_p)$ 、 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ 、 $r_p = 38 \text{ k}\Omega$ 、 $g_m = 11.3 \text{ mS}$ より、 $R = 0.098 \text{ k}\Omega \approx 100 \Omega$ 。

V_2 のヒータ・カソード間耐圧対策は、最も簡便な L/R 共通の非接地回路としました。

本機も製作後の調整は不要です。

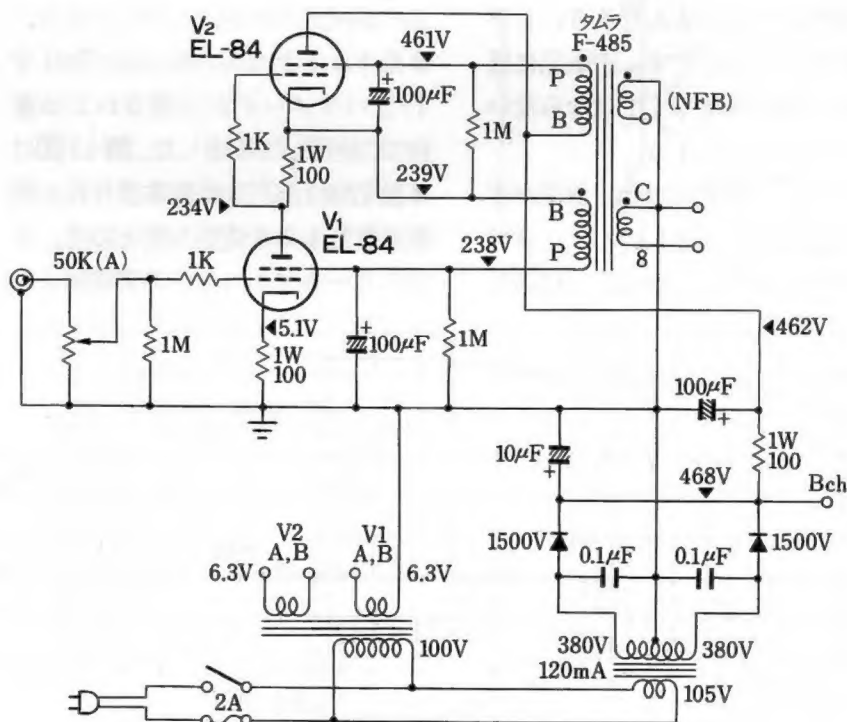
第11図はひずみ率特性です。平衡をうたうにはやや情ない結果とな

りましたが、EL-84の標準PPでもこの程度かもしれません。上の R の値を増減してやれば、もう少しよい特性が得られるはずですが。

● 試作した 6 BQ 5 平衡 SRPP アンプ

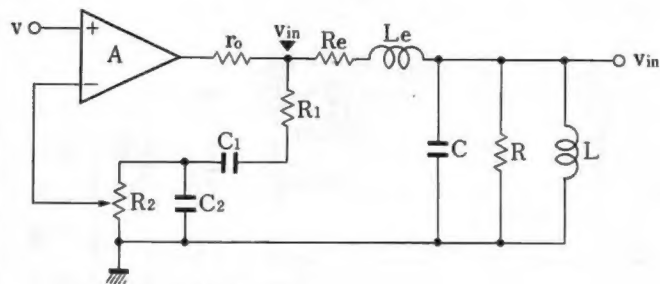


▼〈第10図〉6 B Q 5 平衡 SRPP アンプの全回路図



第12図は振幅と出力インピーダンスの周波数特性です。振幅特性は帯域の両端できれいに減衰して見事ですが、出力インピーダンスは高域の減衰が早めです。低域は直流磁化のないPPのよさが出ていますが、高域は複雑です。

振幅に関しては、5極管にもかかわらず、巻線容量がうまく作用して高域のピークが影を潜めており、これを見事な巻線技術と見るか、よいなお世話と見るか、高出力インピーダンスが目標の今回は後者でしょう。ただし、本来2次側からの電圧NFB前提で設計された出力トランスですから、タムラの技術はやはり



●FE103の例

$A=100$, $r_o=50\Omega$, $R_e=7.45\Omega$, $L_e=0.255mH$

$C=108\mu$, $R=53.5\Omega$, $L=37.3mH$

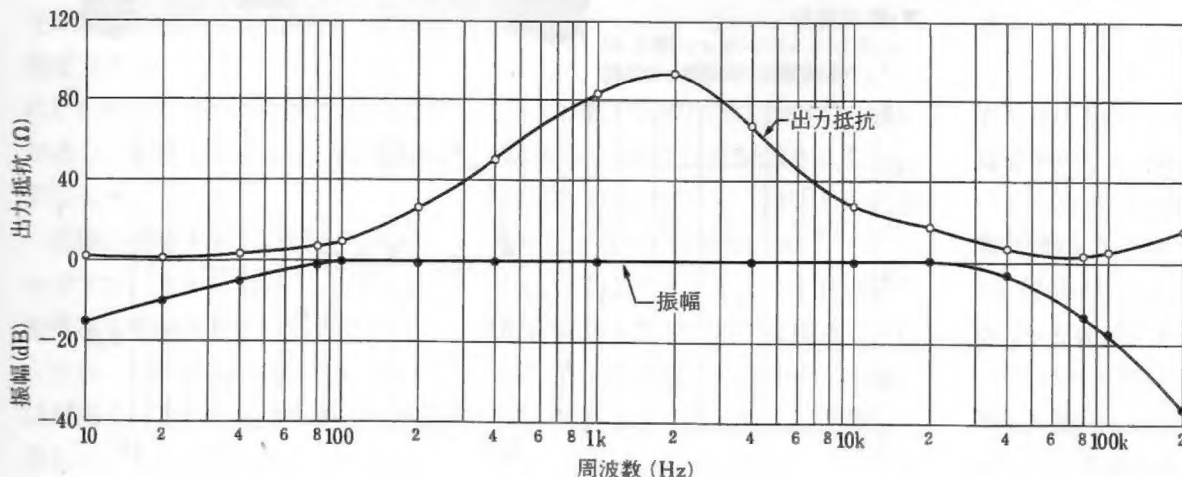
$C_1=C_2=0.01\mu$, $R_1=252k\Omega$, $R_2=159k\Omega$

〈第17図a〉“インチキ”MFBの基本回路

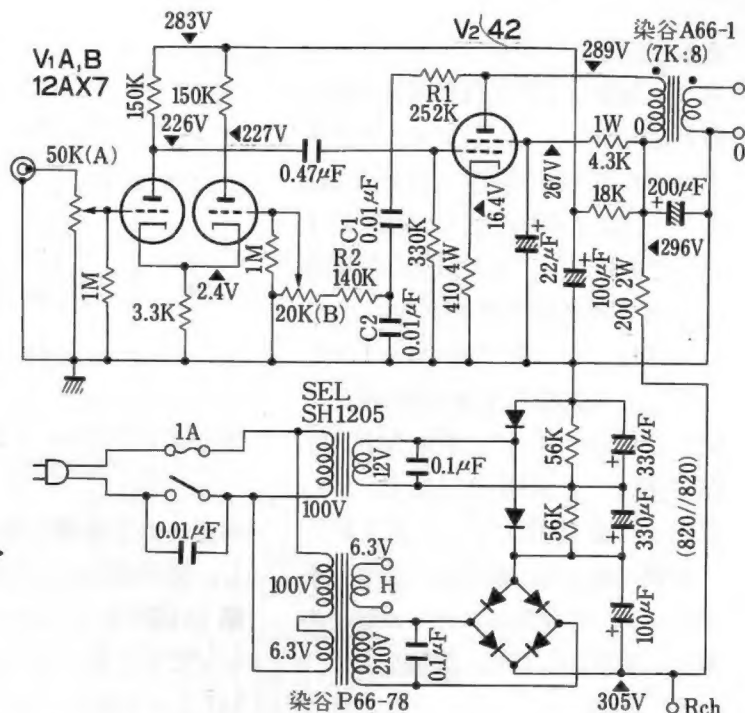
電流出力アンプに使うと、高域の駆動力を保ったまま、 f_0 付近に制動がかけられます。このインチキMFBは問題の多い帯域の両端に向けて帰還量が減衰していきますので、 f_0 付近に多量の負帰還をかけても非常に安定です。また共振のピークをつぶすだけなら、ゲインは変わりません。

第17図が基本回路とシミュレーションの結果です。第13図の(a)と比較すると、高域の低下なしに制動が効いているのが見てとれます。電圧駆動時 $Q < 0.5$ の共振を利用しないスピーカ・システムを低域限界周波数が低いアンプで駆動する場合、条件がそろえば広い帯域での速度一定化後(第17図(b)) f_0 の再定義も可能ですが、5極管シングル・アンプには荷が重く、共振のピークがなくなり、 $Q_t=0.5\sim 0.7$ が得られればよしとします。

f_0 の再定義に関しては本誌で已



〈第21図〉42シングル・アンプの振幅、出力抵抗の周波数特性

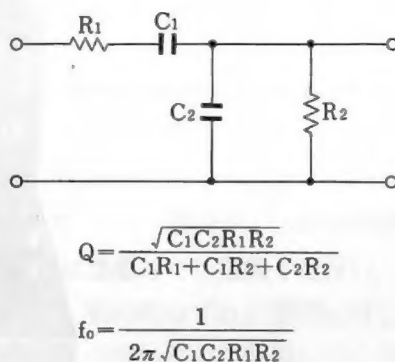


第18図が42アンプの全回路図です。負帰還量がスムーズに増減できるよう、初段を簡易カソード結合

〈第18図〉“インチキ”MFB用42シングル・アンプの全回路図

波弘幹氏がたびたび取り上げておられますし、1994年4月号の「クロストーク」で高野慶人氏が“密閉システムの低域共振を制御する”と題して解説されています。

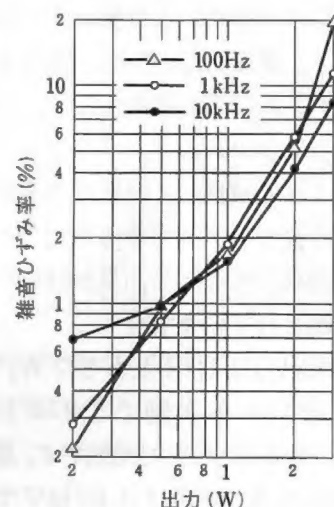
(2) 回路の設計



〈第19図〉2次バンドパス・フィルタ

$$Q = \frac{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}{C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}$$



〈第20図〉42アンプの雑音ひずみ率

$C1=0.01\mu F$, $R1=120k\Omega$

$C2=1\mu F$, $R2=1.2k\Omega$

第19図(a)から, $Q=0.498$, $f_c=133\text{ Hz}$ ($R2$ は $20k\Omega$ と VR と $1.3k\Omega$ 並列接続).

BPF 2 の変更で, 第22図(d)のように f_0 が 20% ほど下がりました.

ロー・プースタと平面バッフルを接続し, 音楽を再生しながらインチキ MFB の帰還量を徐々に増していくと, ボリュームを少しだけ回したところでハツとするほどクリアな音となり, それ以降は低域が減衰してどんどん音が瘦せていきます. シミュレーションは現実ではありませんから, 最適帰還量は $Q(V_{in})$ の実測値(たぶん最適値は 1~2 の間)を参考として, 最後は耳で判断すべきでしょう.

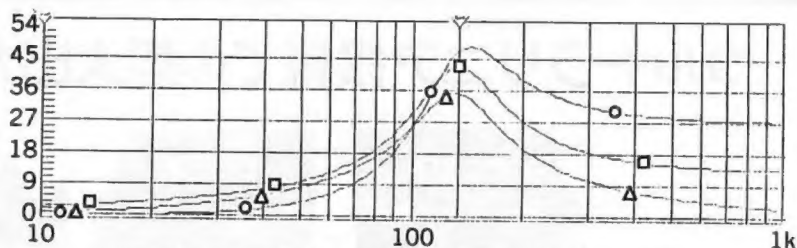
あとがき

42 の 5 結シングル・アンプはふつうの音で鳴るようになりました. 第16図(b)の 6CA7 アンプ(マイルドな電圧アンプ)とは異質ながら, 甲乙つけがたいレベルの音です. シングル・アンプでは, スピーカ以前に OPT を制御する必要があるようです.

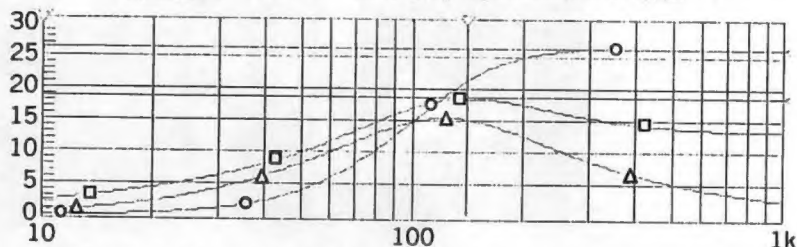
いまはスピーカとアンプの相互関係が, 抵抗負荷で得られるアンプ単独の諸特性より重要だ, と感じています. 特に“手軽な真空管アンプ”を好んで製作する人たちは, その不完全さを知ったうえでスピーカ(これも不完全)とのよい関係を築く必要があります. 創意工夫のネタは尽きないでしょう.

究極の素材を使った懐石料理もいいですが, 身近な素材のよい調理法を考案するのも楽しいものです.

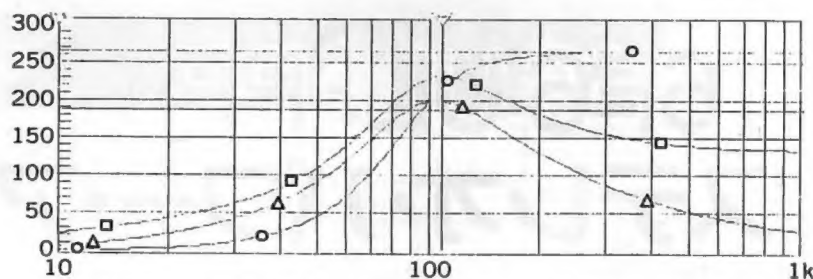
スピーカに興味を持ち始めてから日が浅く, あるいはまちがった解説をしているかも知れません. お気づ



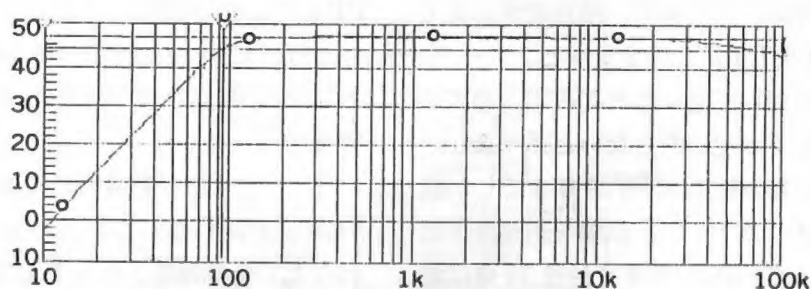
〈第22図 c〉“インチキ” MFB なし, L_1 20 mH のときの特性



〈第22図 d〉“インチキ” MFB あり, R_2 11.7%, L_1 20 mH のときの特性



〈第22図 e〉BPF 2 を変更, “インチキ” MFB あり, R_2 45.7%, L_1 20 mH のとき



〈第22図 f〉e 図の加速度特性の縦軸を dB 表示にしたもの

きの方は遠慮なくご指摘ください. 最後に, 私的のはずれな質問に対して 1 つ 1 つていねいに解説してくださった巳波弘幹氏に感謝します.

× ×

この稿がほぼ出来上がってから, 本誌 2004 年 3 月号が届きました. 復刻版で山口侃氏の“SRPP の生態研究”なるものが掲載されています. これは助かりました. SRPP は構成がシンプルなのに動作は複雑で, わかりやすく解説するのがたいへんです. 解析は山口氏の稿にお任せし, 6CA7 アンプ, 6BQ5 アンプは

SRPP のパワー・アンプ応用編として見ていただければと思います. 続編 2004 年 4 月号でまったく同じアンプが掲載されないことを願っています.

* *

もうすぐ満作の花が咲いて奥美濃に待望の春が来ます.

●参考書

- 『全日本真空管マニュアル』(一木吉典著 ラジオ技術全書 [2])
- 『電子回路シミュレータ入門』(加藤ただし 著 講談社 BLUEBACKS)
- 『アナログフィルターの回路設計法』(堀敏夫 著 総合電子出版社)